

- critical concentrations / E. Dun, S.I. Filippov // Izvestiya VUZ. Chernaya Metallurgiya. – 1960 - № 5. – P. 28-38. (Rus.)
4. Novak A.A. A critical concentration of carbon in the iron-carbon melt / A.A. Novak, D.H. Devyatov // Heat and mass transfer processes in bathtubs steel-making units. Abstracts III scientific conference. – Zhdanov: Zhdanov metallurgical Institute, 1982. – P. 129-130. (Rus.)
 5. Filippov E.S. Oxidative Processes of melting steel in a laboratory rotary furnace / E.S. Filippov, T.J. Arystanbaev, P.S. Surovtsev // Izvestiya VUZ. Chernaya Metallurgiya. - 1960. - № 2. – P. 10-15. (Rus.)
 6. Filippov E.S. Communication of the common features of molten iron with a "critical concentration" / E.S. Filippov, A.A. vertman // Izvestiya VUZ. Chernaya Metallurgiya. – 1965. – № 5. – P. 5-8. (Rus.)
 7. Filippov E.S. On the physical nature of critical concentrations. Determination of activity coefficients at a critical concentration / E.S. Filippov, S.I. Filippov // Izvestiya VUZ. Chernaya Metallurgiya. - 1966. – № 5. – P. 10-16. (Rus.)
 8. Arsent'ev P.P. Critical concentration of arsenic and the possibility of its removal during refining of iron-carbon melts / P.P. Arsent'ev, S.I. Filippov // Izvestiya VUZ. Chernaya Metallurgiya. – 1962. - № 5. - P. 25-33. (Rus.)
 9. Kharlashin P.S. To the question about the mechanism of oxidation of arsenic during oxygen refining of iron-carbon melts / P.S. Kharlashin, G.D. Molonov, Yu.I. Kiryushkin // Heat and mass transfer processes. Abstracts conference. – 1982. – P. 124-125. (Rus.)
 10. Kharlashin P.S. the Study of physico-chemical properties of Fe-As-Fe-As-C, Fe-As-C-S-P melts and behavior of arsenic in the processes of steel production / P.S. Kharlashin // Modern technologies for the production and casting of steel. – Varna. – 1989. - P. 289-302. (Rus.)
 11. Yavoiskii V.I. the Oxidation of the impurities of the molten metal in the steel production process. / Yavoiskiy V.I., A.F. Vishkarev // Izvestiya VUZ. Chernaya Metallurgiya. – 1960. – № 5. - P. 39-48. (Rus.)
 12. Physico-chemical properties of oxides. Guide / Edited by G.V. Samsonov. – Moscow: Metallurgiya. – 1965. – 456 p. (Rus.)
 13. Kharlashin P.S. Surface activity of arsenic in iron-arsenic melts. / P.S. Kharlashin, G.D. Molonov // Izvestiya VUZ. Chernaya Metallurgiya. – 1977. – №. 3. - P. 14-18. (Rus.)

Рецензент: В.А. Маслов

д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 27.04.2015

УДК 621.746.628:668.18

© Макуров С.Л.¹, Ефременко Б.В.²

МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ЗАТВЕРДЕВАНИЯ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ В КРИСТАЛЛИЗАТОРЕ МНЛЗ

В статье рассмотрены современные методы исследования процесса кристаллизации стальных слитков и заготовок МНЛЗ. На основе анализа этих методов предложен новый неразрушающий метод наклонного зондирования непрерывнолитой заготовки, позволяющий оперативно, во время разливки, проводить исследования роста корочки металла в кристаллизаторе и, тем самым, корректировать технологические параметры разливки для получения заготовок с качественной поверхностью.

Ключевые слова: непрерывнолитая заготовка, кристаллизатор, кристаллизация, зондирование, разливка, сталь, стальная корочка.

¹ д-р техн. наук, профессор, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

² аспирант, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, bodyaefr@gmail.com

Макуров С.Л., Єфременко Б.В. Метод дослідження процесу затвердіння безперервно литої заготовки у кристалізаторі МБЛЗ. У статті розглянуті сучасні методи дослідження процесу кристалізації сталевих злитків та заготовок МБЛЗ. На основі аналізу цих методів запропоновано новий неруйнуючий метод нахилоного зондування безперервнолитої заготовки, що дозволяє оперативно, під час розливання, проводити дослідження утворення скоринки металу в кристалізаторі і, тим самим, коригувати технологічні параметри розливання для отримання заготовок з якісною поверхнею.

Ключові слова: безперервнолита заготовка, кристалізатор, кристалізація, зондування, розливка, сталь, сталева корочка.

S.L. Makurov, B.V. Efremenko. The method for research of solidification process of continuous casting blanks in the mold of CCM. The modern methods of investigation of the crystallization process in the continuous casting crystallizer are observed in the article. In the context of continuous casting the method of the horizontal probing involving the use of the probe, fastened on a turning mechanism, and recording data using a protractor arouse interest. The main disadvantage of this method is the use of a rotary mechanism, which results in design complication and reduces the accuracy of experimental results. In order to eliminate this drawback, a new non-destructive method of oblique probing of continuous casting is proposed in the article. The method involves the application of a steel rod, which is introduced at a certain angle into the melt until it stops in the formed crust of metal. Then, the crust thickness can be determined by using the difference of length of the section of the rod introduced into the melt before casting mold and after finding the metal crust. The study takes place at several levels of the mold, which makes it possible to investigate the formation of cortical areas blank in the mold during the casting process more accurately. The research of crust at several horizons is due to the metal shrinkage during casting, as well as the probability of forming gaps between the wall of the mold and metal crust. The method makes it possible to research the crust growth just during casting, and thereby to adjust the process parameters for producing casting with high quality of metal surface.

Keywords: continuously cast billet, crystallizer, crystallization, probing, casting, steel, steel crust.

Постановка проблеми. Кристаллизация стального слитка в кристаллизаторе МНЛЗ является сложным комплексом теплофизических и физико-химических процессов, которые влияют на получение высококачественной продукции. К числу проблем, возникающих при кристаллизации непрерывнолитой заготовки, относятся образование дефектов поверхности, а также прорывы металла на выходе заготовки из кристаллизатора. Выбор оптимальных технологических параметров разливки должен предусматривать предотвращение названных проблем, для чего необходимо иметь четкое представление о механизме формирования и роста корочки слитка. Кроме того, необходимо обеспечить оперативный контроль ее роста в процессе разливки стали.

Анализ последних исследований. Процесс затвердевания стальной заготовки в кристаллизаторе МНЛЗ в процессе разливки сопровождается образованием и ростом стальной корочки металла. Стальная корочка имеет толщину в несколько миллиметров и состоит из мелких кристаллов, близких по форме к равноосным. Это происходит в условиях значительного термодинамического стимула процесса кристаллизации вследствие высокой степени переохлаждения на границе «расплав – кристаллизатор». Затем начинает кристаллизоваться зона столбчатых (дендритных) кристаллов, оси первого порядка которых направлены практически к поверхности заготовки. Последней кристаллизуется зона равноосных кристаллов, занимающая всю центральную часть заготовки и состоящая из крупных кристаллов с беспорядочным направлением осей первого порядка [1].

Важное значение при выходе слитка из кристаллизатора имеет толщина корочки заготовки, которая обеспечивает качество поверхности заготовки, скорость вытягивания заготовки из кристаллизатора МНЛЗ (а значит и производительности машины), а также вероятность прорыва металла. Данные проблемы, чаще всего, возникают из-за ослабления прочности стальной

корочки. Это происходит, прежде всего, в местах, прилегающих к углам кристаллизатора. Вследствие усадки корочки вдоль ее граней возникает зазор, резко сокращающий теплоотвод от турбулентных потоков внутри затвердевающей непрерывнолитой заготовки. Замедление теплоотвода приводит к развитию неравномерной кристаллизации в поперечном сечении заготовки [2].

С ростом корочки затвердевающего металла тепловой поток к стенке кристаллизатора уменьшается, а значит, процесс кристаллизации замедляется. В результате неравномерного распределения тепловых потоков при движении заготовки происходит неравномерный прогрев стенок кристаллизатора. Разница температуры поверхности затвердевшего металла на разных уровнях заготовки вызывает различную усадку и деформацию корочки [3].

Размеры зазора между поверхностью заготовки и кристаллизатора, создающего сопротивление отводу тепла от жидкого металла, определяются теплофизическими свойствами разливаемой стали, материалом и конфигурацией защитного покрытия кристаллизатора. Зазор может быть заполнен различными газами, жидкими шлаками и твердыми частицами шлакообразующей смеси с существенно меньшей теплопроводностью. Для повышения однородности тепловых потоков по периметру заготовки создают слой шлака, путем непрерывной подачи в кристаллизатор шлакообразующих смесей [3].

Для исследования процесса кристаллизации металла в кристаллизаторе МНЛЗ, работы всей машины в целом, а также контроля работы шлакообразующих смесей, применяют различные методы. Эти методы, согласно источнику [4], подразделяются на разрушающие (требующие порезки слитков) и неразрушающие.

К первой группе методов относятся: изучение температурного поля внутри кристаллизатора или в его стенке, а также ввод индикатора.

Изучение температурного поля внутри кристаллизатора позволяет получать данные о динамике затвердевания и характере охлаждения заготовки [5]. Отсюда, можно рассчитать дальнейшие скорости разливки и необходимый расход воды в зоне вторичного охлаждения (ЗВО). Ввод индикатора в расплав позволяет более точно определить движение фронта кристаллизации, но этот метод слишком дорогостоящий и длительный по времени, что в современном производстве недопустимо.

Ко второй группе методов относятся горизонтальное зондирование и комплексный метод, включающий метод взрыва и дифференцированного зондирования [6].

Интерес представляет метод горизонтального зондирования, описанный в работе [7] применительно к кристаллизации слитка в изложнице. Схема метода показана на рисунке 1. Суть метода заключается в следующем. После наполнения изложницы жидким металлом на нее устанавливают измерительное устройство, затем в жидкую сердцевину слитка погружают стальной зонд. Глубина погружения фиксируется металлическим стрежнем, закрепленным в верхней части зонда. Стержень, при погружении зонда, входит в пазы измерительного устройства, образуя устойчивый шарнир. После образования шарнира зонд отклоняют от вертикали до упора в стальную корочку слитка и фиксируют этот угол. До начала разливки проводят холостой опыт, определяя угол отклонения зонда при соприкосновении его со стенкой изложницы. Имея данные об угле отклонения зонда от вертикали и геометрические размеры зонда и изложницы, определяют толщину корочки x на глубине h путем геометрического построения (рис. 1).

Другой вариант горизонтального зондирования предложен авторами работы [5]. Его отличием от предыдущего метода является то, что для определения толщины корочки нет необходимости измерять угол, который образует зонд при прохождении от одной стенки кристаллизатора к другой. Суть метода заключается в использовании металлокерамического щупа (изготовленного из молибдена, покрытого оксидом циркония), который закреплен в держателе установленном на узкой грани кристаллизатора и который поворачивается вокруг определенной точки, для измерения расстояния, которое проходит обратная сторона держателя. Это расстояние фиксируют на приборе со шкалой с помощью стрелки, закрепленной на обратной стороне держателя. Перед разливкой металла также проводят холостой опыт, замеряя расстояние, которое проходит щуп в пустом кристаллизаторе. Затем находят разницу между полученными данными в пустом кристаллизаторе и с жидким металлом, что и дает значение толщины корочки.

Основным недостатком описанных методов горизонтального зондирования является использование поворотного механизма, что вызывает усложнение конструкции установки.

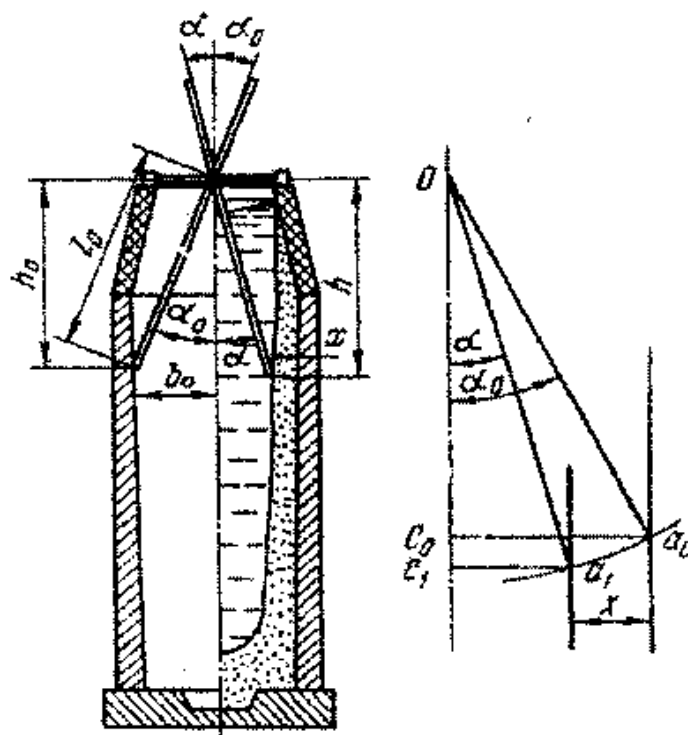


Рис 1 – Схема метода горизонтального зондирования затвердевающего стального слитка

Целью статьи является разработка нового метода исследования процесса затвердевания непрерывнолитой заготовки в кристаллизаторе МНЛЗ, позволяющего оперативно производить измерение толщины корочки заготовки во время разливки металла.

Изложение основного материала. Как было отмечено ранее, основным недостатком метода горизонтального зондирования является наличие поворотного механизма, а значит фиксирование данных с помощью транспорта или его аналогов. При проведении опыта требуется, чтобы на поворотный механизм не совершалось никаких внешних механических воздействий. В дополнение к этому, еще одним недостатком второго варианта горизонтального зондирования является использование в качестве зонда дорогостоящего металлокерамического щупа.

В данной работе предложен новый способ исследования процесса кристаллизации заготовки в кристаллизаторе МНЛЗ путем наклонного зондирования, который предполагает ввод зондов в расплав под заранее рассчитанными углами и исключает использование поворотных механизмов в установке.

В качестве щупа предлагается использовать стальной прутки диаметром 10-12 мм с нанесенным на него огнеупорным покрытием. Замеры проводят на трех горизонтах: 1- на расстоянии 200-300 мм от верхней кромки кристаллизатора; 2 – на уровне середины кристаллизатора; 3 – на расстоянии 200-300 мм до нижней кромки кристаллизатора. Уровни для исследования выбираются с учетом конструктивных особенностей исследуемого кристаллизатора. Проведение исследования на трех горизонтах обусловлено наличием усадки корочки металла в процессе разливки, а также вероятностью образования зазоров между стенкой кристаллизатора и корочкой металла. Поэтому такое исследование позволит более точно и полно исследовать процесс формирования корковой зоны заготовки в кристаллизаторе во время процесса разливки.

Схема установки представлена на рисунке 2. Перед началом опыта на узкой грани кристаллизатора устанавливается держатель 2, на котором зафиксированы три направляющих 1 для введения стального прутка 6 в кристаллизатор. Высота держателя выбирается в зависимости от конструктивных особенностей используемого кристаллизатора и вспомогательного оборудования. В качестве направляющих используют полукруглый профиль для быстрого извлечения прутка в случае необходимости. Чаще всего разливка металла происходит с использованием погружаемых стаканов, поэтому держатель необходимо устанавливать со смещением от-

носителю центра узкой грани кристаллизатора. Это смещение должно обеспечивать отсутствие попадания стального прутка под струю металла.

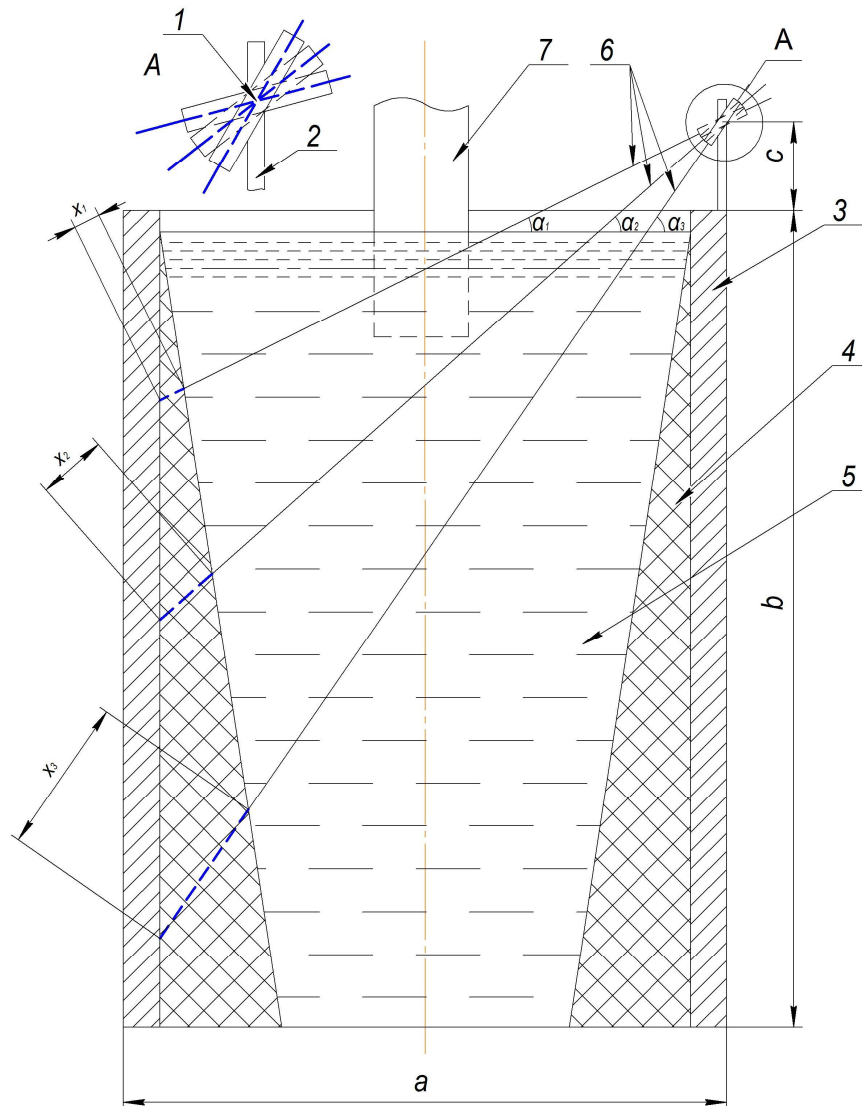


Рис. 2 – Схема установки наклонного зондирования: 1 – направляющие металлического прутка; 2 – держатель; 3 – стенки кристаллизатора МНЛЗ; 4 – корочка металла; 5 – жидкий металл; 6 – стальные прутки; 7 – погружаемый стакан; x_1, x_2, x_3 – расстояние между отметками на щупе, $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – углы, обеспечивающие погружения металлического прутка в кристаллизатор на трех заданных уровнях; a – длина широкой грани кристаллизатора; b – высота кристаллизатора; c – высота держателя

Направляющие жестко крепятся к треноге под определенными углами, обеспечивающими проведение опыта на трех, ранее указанных уровнях. Углы направляющих, относительно кристаллизатора выбираются согласно формулам:

$$\alpha_1 = \frac{180}{\pi} \cdot \arctan \left[\frac{c + (200 \dots 300)}{a} \right];$$

$$\alpha_2 = \frac{180}{\pi} \cdot \arctan \left[\left(\frac{b}{2} + c \right) \cdot \frac{1}{a} \right];$$

$$\alpha_3 = \frac{180}{\pi} \cdot \arctan \left[\frac{b + c - (200 \dots 300)}{a} \right].$$

Данные углы выбираются для конкретного кристаллизатора один раз и на все время проведения исследований.

Перед началом разливки проводят холостой опыт. Щуп погружают в кристаллизатор до упора в стенку кристаллизатора, делая отметку на щупе. Затем холостой опыт проводят на других горизонтах. После заполнения кристаллизатора и установления стационарного режима разливки щуп погружают в кристаллизатор, теперь уже в жидкий расплав. Щуп упирают в образовавшуюся корочку металла и наносят на него новую отметку. Потом щуп погружают в расплав на оставшихся горизонтах и также делают соответствующие пометки. Для опыта следует применять разные щупы для разных горизонтов. Опыты необходимо проводить быстро, т.к. возникающие в кристаллизаторе вихревые потоки, а также высокая температура, приведут к деформации прутков, что даст неверные результаты.

Затем, зная угол, под которым опускали прутки, и разницу между отметками на прутке, по формулам находят толщину образовавшейся корочки заготовки:

$$d_1 = x_1 \cdot \cos \alpha_1;$$

$$d_2 = x_2 \cdot \cos \alpha_2;$$

$$d_3 = x_3 \cdot \cos \alpha_3.$$

Число горизонтов для исследования можно изменять, исходя из конструктивных особенностей кристаллизатора МНЛЗ, в первую очередь – из его длины.

Разработанный метод не требует значительных финансовых затрат и исключает использование поворотного механизма, что упрощает его использование, а также исключает необходимость точной настройки и корректировки в процессе эксплуатации.

В перспективе данный метод можно усовершенствовать за счет автоматизации процесса и использования вместо отметок на прутке более совершенные способы регистрации. Увеличение числа измерительных горизонтов позволит более подробно изучить механизм формирования фронта кристаллизации.

Выводы

1. Предложен новый способ наклонного зондирования, позволяющий оперативно во время разливки проводить исследование процесса роста корочки непрерывнолитой заготовки в кристаллизаторе МНЛЗ на нескольких уровнях по высоте, что необходимо для контроля процесса.
2. Разработанный метод отличается от известных простотой изготовления установки и не требует использования поворотного механизма, что упрощает процесс проведения измерений и увеличивает их точность.

Список использованных источников:

1. Дюдкин Д.А. Качество непрерывнолитой стальной заготовки / Д.А. Дюдкин. – Киев: Техника, 1988. – 253 с.
2. Процессы непрерывной разливки: монография / А.Н. Смирнов [и др.] – Донецк: ДонНТУ, 2002. – 536 с.
3. Смирнов А.Н. Непрерывная разливка стали: учебник / А.Н. Смирнов, С.В. Куберский, Е.В. Штепан. – Донецк: ДонНТУ, 2011. – 482 с.
4. Гуляев Б.Б. Затвердевание и неоднородность стали / Б.Б. Гуляев. – М.: Металлургиздат, 1950. – 228 с.
5. Бахнер Э. Условия затвердевания и температурное поле в кристаллизаторе МНЛЗ / Э. Бахнер, М. Уссар // Черные металлы. – 1976. – №5. – С. 3-9.
6. Макуров С.Л. Новый комплексный метод исследования процесса затвердевания стального слитка / С.Л. Макуров, Д.В. Силкин // Вісник Приазовського державного технічного університету. Сер. : Технічні науки : Зб. наук. пр. / ДВНЗ «ПДТУ». – Маріуполь, 2014. – Вип. 28. – С. 43-47.
7. Казачков Е.А. Кинетика кристаллизации крупных слитков спокойной и полуспокойной стали / Е.А. Казачков, Н.И. Ревтов, В.А. Федоров // Известия ВУЗов. Черная металлургия. – 1973. – №9. – С. 3-9.

Bibliography:

1. Dyudkin D.A. Quality of continuous steel billet / D.A. Dyudkin. – Kiev: Technology, 1988. – 253 p. (Rus.)
2. Continuous casting process: monograph / A.N. Smirnov [et al.]. – Donetsk: Donetsk National Technical University, 2002. – 536 p. (Rus.)
3. Smirnov A.N. Continuous casting: Textbook / A.N. Smirnov, S.V. Kuberskiy, E.V. Stepan. – Donetsk: Donetsk National Technical University, 2011. – 482 p. (Rus.)
4. Gulyaev B.B. Solidification and heterogeneity of steel / B.B. Gulyaev. – Moscow: Metallurgizdat, 1950. – 228 p. (Rus.)
5. Bachner E. Terms of solidification and temperature field in the crystallizer CCP / E. Bachner, M. Ussar // Chernye Metally. – 1976. – №5. – P. 3-9. (Rus.)
6. Makurov S.L. New complex method of steel ingot solidification research / S.L. Makurov, D.V. Silkin // Reporter of the Priazovskiy state technical university. Section: Technical sciences : Collection of scientific works / SHEE «PSTU». – Mariupol, 2014. – Issue 28. – P. 43-47. (Rus.)
7. Kazachkov E.A. Crystallization kinetics of killed and semi-killed steel large ingots / E.A. Kazachkov, N.I. Revtov, V.A. Fedorov // Izvestiya VUZ. Chernaya Metallurgiya. – 1973. – №9. – P. 3-9. (Rus.)

Рецензент: В.А. Маслов
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 26.03.2015

УДК: 669.184

© Харлашин П.С.,¹ Синельников В.О.², Ассиіл Кадхим Мохаммед³

К ВОПРОСУ О ПОВЫШЕНИИ СТОЙКОСТИ ФУТЕРОВКИ КИСЛОРОДНЫХ КОНВЕРТЕРОВ

Предложены модели газоохлаждаемой фурмы процессов факельного торкретирования и разбрызгивания остаточного шлака в кислородном конвертере. Представлены расчёты, позволяющие снизить расход кислорода, необходимого для образования высокотемпературного факела горения, а также упростить конструкцию фурменного устройства.

Ключевые слова: факельное торкретирование, раздувка шлака, газоохлаждаемая фурма, кислородный конвертер, шлаковый гарнисаж.

Харлашин П.С., Синельников В.О., Ассиіл Кадхим Мохаммед. До питання про підвищення стійкості футеровки кисневих конвертерів. Запропоновано моделі газоохолоджувальної фурми процесів факельного торкретування та розбризкування залишкового шлаку в кисневому конвертері. Представлені розрахунки дозволяють знизити витрату кисню, необхідного для утворення високотемпературного факелу горіння, а також спростити конструкцію фурменого пристрою.

Ключові слова: факельне торкретування, роздувка шлаку, газоохолоджувальна фурма, кисневий конвертер, шлаковий гарнісаж.

P.S. Kharlashin, V.O. Sinelnikov, Assiil Kadhim Mohammed. On maximizing oxygen converters lining life. Guniting and residual slag spraying in an oxygen converter, gas-cooled tuyeres of several patterns have been offered. The calculations to reduce oxygen

¹ д-р техн. наук, профессор, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

² аспирант, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь,
Victoriano@online.ua

³ аспирант, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь